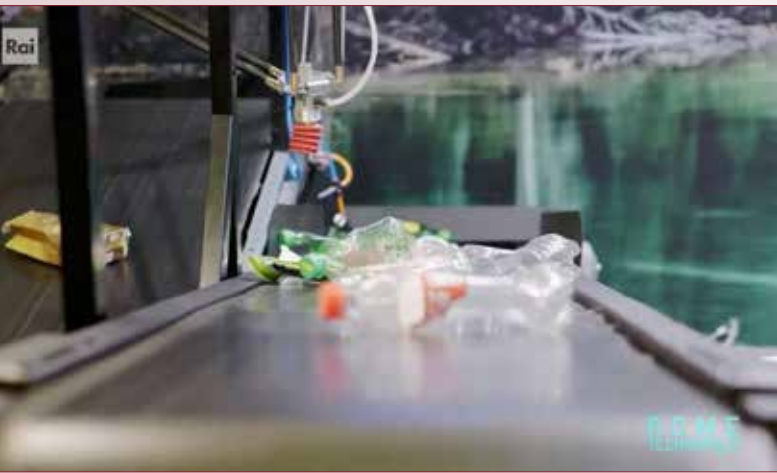


Rifiuto zero, valore massimo

AI, blockchain e gassificazione per reinventare la gestione industriale dei rifiuti



La selezione automatica dei rifiuti: visione artificiale, spettroscopia NIR e fluorescenza a raggi X lavorano insieme per riconoscere la composizione chimica delle frazioni in movimento sul nastro trasportatore, con precisione superiore ai sistemi calibrati sui flussi nordeuropei. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

Ogni anno in Italia vengono prodotte circa 167 milioni di tonnellate di rifiuti speciali. Una quota significativa finisce in discarica o in incenerimento senza che i materiali preziosi contenuti – rame, terre rare, metalli del gruppo del platino – vengano recuperati. Non per impossibilità tecnica: per mancanza di processi abbastanza precisi, rapidi ed economici. Il Flagship Project 3 di Rome Technopole parte da questo paradosso: un rifiuto è un materiale che non sappiamo ancora usare. Quando lo sapremo usare, smette di essere un rifiuto. La domanda di FP3 è come la transizione digitale – AI, sensori, blockchain, modelli numerici – possa abbassare i costi e alzare la



La gestione dei rifiuti resta un problema materiale prima che digitale: quantità, composizione e contaminazione condizionano ogni processo di recupero. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

di Maria Chiara Spiezia

Quattordici linee di ricerca, cinque cluster tematici, un obiettivo: trasformare il rifiuto da problema ambientale a risorsa industriale – e costruire i distretti circolari del Lazio.

precisione dell'intero processo. E, in parallelo, come aiutare gli impianti di recupero energetico a dimostrare la propria conformità ambientale in modo trasparente e credibile per le comunità che ci vivono vicino.

IL PROBLEMA: ETEROGENEITÀ, TRACCIABILITÀ, COMPLESSITÀ TERMOCHIMICA

La gerarchia normativa europea è chiara: prevenzione, riutilizzo, riciclo, recupero energetico, smaltimento. La discarica è l'ultima opzione. Questo vuol dire che il riciclo di molti flussi rimane limitato da tre ostacoli strutturali.

Il primo è l'eterogeneità: i rifiuti non arrivano agli impianti con composizione uniforme. Un carico di RSU mescola quattro tipi di plastica, carta, organico, vetro, metalli. Selezionarli con sufficiente purezza richiede sistemi di riconoscimento precisi, veloci e robusti. Il secondo è la tracciabilità: affinché il mercato delle materie prime secondarie cresca, chi acquista materiale recuperato deve sapere esattamente cosa contiene e come è stato prodotto. Senza questa certezza, i prezzi restano lontani dalle materie prime vergini. Il terzo è la complessità dei processi termochimici, come la gassificazione e la pirolisi, sensibili alla composizione del rifiuto: una variazione di umidità o di cloro cambia qualità del syngas, emissioni, rendimento. Governarli richiede modelli che il machine learning riesce a costruire meglio di qualsiasi operatore umano.

La scheda FP3 esplicita il bersaglio industriale: creare vantaggi per operatori dei rifiuti e della distribuzione energetica, intrecciando gestione dei materiali, produzione di energia e sostenibilità economica, ambientale e sociale degli impianti. Il filo che con-

nette le quattordici linee di ricerca è la digitalizzazione, ovvero rendere visibile e governabile un processo finora in larga parte opaco.

La scheda struttura gli obiettivi su tre linee strategiche:

1. HIC (potenziale industriale), integrare soluzioni avanzate di selezione, tracciabilità e valorizzazione, sfruttando la partecipazione a tavoli di lavoro con aziende della distribuzione energetica per filiere integrate;
2. N&F (formazione pubblica), ridurre opposizioni agli impianti spiegando le differenze rispetto agli inceneritori tradizionali;
3. D&D (dati e trasparenza), raccogliere dati certificati su emissioni ed efficienza energetica per conformità normativa, certificazioni green e accesso a incentivi pubblici.

L'AI CHE RICONOSCE IL RIFIUTO PRIMA CHE ARRIVI ALL'IMPIANTO

Il modello predittivo è il primo anello. Partendo da zona di raccolta, giorno, stagione e tipo di utenza, stima in anticipo le probabili caratteristiche del rifiuto in ingresso. Non una certezza, poiché la composizione varia per natura, ma una distribuzione abbastanza precisa da pre-configurare i parametri dell'impianto, riducendo i transitori fuori specifica. Il riconoscimento automatico combina visione artificiale, spettroscopia NIR per i polimeri e fluorescenza a raggi X per i metalli. Il contributo di FP3 è addestrare algoritmi di deep learning su dataset che includano la variabilità degli impianti italiani, con una maggiore presenza di organico e plastiche difficili rispetto ai flussi nordeuropei su cui sono calibrati i sistemi commerciali.

Il pretrattamento a bordo, già pilotato in Germania e Svezia, punta a portare la selezione primaria direttamente sul mezzo di raccolta, separando le frazioni di valore prima ancora dell'arrivo all'impianto. I sensori iperspettrali compatti sviluppati dal CNR sono il componente abilitante: ottimizzati per ambienti industriali polverosi e vibranti, identificano la composizione chimica delle superfici in movimento sul nastro trasportatore.

"Al di là degli aspetti chimici che governano la trasformazione del rifiuto, questo progetto innesta tecnologie totalmente innovative – AI, blockchain, robotica sensoriale – sin dai primissimi passi che il rifiuto compie dal luogo in cui viene originato", spiegano Antonio Carcaterra e Nicola Verdone della Sapienza. Il punto di arrivo è far sì che il sistema classifichi e separi il rifiuto in ingresso, alimentando nel modo più opportuno i processi chimici di trasformazione a valle.



La trasparenza sulle emissioni come risposta alle opposizioni locali: droni e sensori portatili sviluppati a Cassino monitorano in continuo le nanopolveri aerodisperse negli interni degli impianti, rendendo i dati accessibili in tempo reale alla popolazione. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

DAL PASSAPORTO DIGITALE AL RICICLO CHIMICO DELLE PLASTICHE

Il Passaporto Digitale per i RAEE è uno degli strumenti previsti dal regolamento ESPR (UE 2024/1781): ogni prodotto deve essere accompagnato da un documento digitale che ne descrive composizione, componenti critici e istruzioni di smontaggio. Quando il prodotto diventa rifiuto, l'impianto trova già le informazioni per ottimizzare la valorizzazione. FP3 lavora sulla componente tecnologica – struttura del dato, standard informatici, accessibilità lungo tutta la filiera – in collaborazione con ACEA e con i produttori dell'area laziale.

Le etichette elettroniche eco-friendly (chip NFC su substrato compostabile) rendono le istruzioni di riciclo dinamiche, aggiornabili e leggibili sia dallo smartphone del consumatore, sia dai sistemi automatici degli impianti. Il sistema di plastic credits su blockchain aggiunge la dimensione di mercato: certificati unici e non duplicabili che attestano il riciclo, scambiabili tra aziende per compensare deficit di contenuto riciclato. Un meccanismo volontario



Modelli predittivi per la gestione del rifiuto in ingresso: a partire da zona di raccolta, stagione e tipo di utenza, il sistema stima la composizione probabile del carico, pre-configurando i parametri dell'impianto prima dell'arrivo. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)



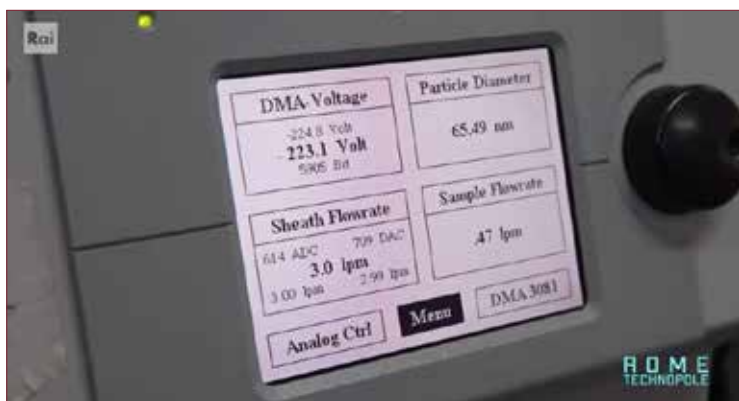
Il riciclo chimico delle plastiche difficili: nei laboratori di Sapienza si lavora sul Plasmix — la quota di rifiuto plastico non più riciclabile meccanicamente — usando gemelli digitali degli impianti per valutare la fattibilità prima di qualsiasi investimento fisico. Le partnership tra università e industria permettono di trasformare la ricerca sui rifiuti in tecnologie applicabili agli impianti reali. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

che precede, e può modellare, la futura obbligatorietà normativa.

Sul fronte del riciclo chimico, Barletta a Roma Tre lavora sui vassoi in PET per alimenti freschi — tra i prodotti più difficili da riciclare a causa della contaminazione alimentare. La filiera sperimentale copre tutto il ciclo: estrusione, stampaggio, termoformatura, caratterizzazione sistematica. Nei laboratori della Sapienza si lavora invece sul Plasmix, la quota di rifiuto plastico non più riciclabile meccanicamente, usando gemelli digitali degli impianti per valutare tecnica ed economia prima di qualsiasi investimento fisico. "Il 70% degli studenti che si laureano in questi ambiti trova subito lavoro", rileva il gruppo di ricerca. La domanda industriale è concreta.

CLUSTER C ED E: TERMOCHIMICO, NANOPOLVERI E MONITORAGGIO CON ACEA

FP3 costruisce più di semplici impianti: costruisce gemelli digitali di gassificazione e pirolisi che simulano il comportamento dei processi in funzione della composizione variabile del rifiuto in ingresso,



Sensori e misure in tempo reale consentono di monitorare parametri fisici e chimici dei processi di trattamento. analizzatore di particelle (DMA) Strumento da laboratorio per l'analisi dimensionale delle particelle (DMA — Differential Mobility Analyzer): pannello frontale con display, manopole e connettori; visibili i parametri di misura (DMA-Voltage, Sheath Flowrate, Sample Flowrate, Particle Diameter: 65,49 nm); logo RT.



Luca Stabile Prof. Associato di Ingegneria Civile e Meccanica dell'Università di Cassino e del Lazio Meridionale;

ottimizzando emissioni, rendimento e design prima della scala industriale. Il syngas prodotto dalla gassificazione apre a partnership dirette con la distribuzione energetica: combustibili verdi da cedere, calore da convertire in teleriscaldamento urbano, idrogeno da immettere in rete. Un doppio mercato, di materiali ed energia, che rafforza la sostenibilità economica degli impianti.

Luca Stabile e il gruppo dell'Università di Cassino studiano le nanopolveri aerodisperse negli intorno degli impianti: particelle circa mille volte più piccole del PM10, prive di limiti di legge e di metodi di misura codificati. La risposta operativa sono droni e dispositivi portatili per il monitoraggio in continuo, con dati in tempo reale accessibili alla popolazione. "Si riesce a dare un'informazione in real time ai residenti su ciò che accade nell'intorno dell'impianto", confermano Carcaterra e Verdone. Di fronte alle opposizioni che bloccano nuovi impianti in Italia, questo tipo di trasparenza misurabile è l'unica risposta concreta.

ACEA, gestore del ciclo integrato dei rifiuti nel Lazio, è il banco di prova di queste linee. Possiede i dati reali degli impianti, il problema delle acque di processo da trattare con sistemi elettrochimici avanzati, e l'interesse a dimostrare performance ambientali credibili. Almagiva integra il tutto in piattaforme



La misurazione delle particelle ultrafini: lo strumento DMA (Differential Mobility Analyzer) del laboratorio di Cassino consente di caratterizzare le nanopolveri aerodisperse, circa mille volte più piccole del PM10, prive di limiti di legge e di metodi di misura codificati. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)

digitali che monitorano in tempo reale produzione e distribuzione dell'energia generata dagli impianti, ottimizzando l'integrazione con fonti rinnovabili (solare, eolico, idrogeno) e la fornitura di calore per il teleriscaldamento urbano, così da costruire la base per i distretti circolari.

UNA FRONTIERA TRASVERSALE: SMART PACKAGING E SENSORI WIRELESS

Dai laboratori di elettromagnetismo pervasivo di Tor Vergata arriva un contributo inatteso: la prof. ssa Occhiuzzi sviluppa sensori wireless privi di batteria, integrabili in vaschette alimentari o boccette di farmaci e capaci di rilevare parametri chimico-fisici trasmettendoli via NFC. Nel contesto FP3 la killer app è lo smart packaging: etichette che monitorano la qualità del cibo in tempo reale, non in base alla data stampata. Collegato alla linea B sulle etichette eco-friendly, lo smart packaging sposta il focus dalla tracciabilità alla prevenzione: meno sprechi alimentari, meno rifiuti generati, così da rispettare la priorità in cima alla gerarchia normativa europea.

IL CONTESTO EUROPEO E IL DISTRETTO CIRCOLARE

FP3 si inserisce in un ciclo normativo europeo denso: ESPR, Critical Raw Materials Act (2024), revisione IED, Circular Economy Action Plan. Il CRMA vincola l'UE a recuperare il 15% dei materiali domesticamente strategici entro il 2030: terre rare e metalli critici per la transizione verde, di cui la Cina controlla oggi oltre il 90% della produzione. Umicore, Aurubis e Veolia lo fanno già, mentre FP3 e la filiera ACEA possono costruire lo stesso nel Lazio.

L'obiettivo finale è il distretto circolare: un'area dove lo scarto di un'impresa diventa materia prima di un'altra. Il modello è Kalundborg in Danimarca, che comprende raffineria, cementificio, farmaceutica e impianto elettrico in ciclo chiuso. FP3 vuole replicarlo nel Lazio con flussi reali e dati tracciabili su blockchain. La governance – chi certifica i mate-



Gassificazione e trattamenti termochimici aprono nuove possibilità per recuperare valore energetico e materiale dai flussi di scarto.

riali, chi risolve i conflitti – resta la domanda aperta: la blockchain traccia, l'AI ottimizza, ma la fiducia tra imprese si costruisce con i risultati, non con la tecnologia.

Un elemento spesso dimenticato è il fatto che FP3 produce già nuove professionalità. All'Università della Tuscia, la laurea magistrale in Circular Economy – una delle prime in Italia su questi temi – forma figure ibride che combinano economia circolare, tecnologie digitali del riciclo e competenze ambientali. "Rome Technopole ha deposto un seme", dice Carcaterra. E il seme più duraturo non è nei brevetti, bensì nei ricercatori che, dopo il PNRR, continueranno a lavorare su questi problemi.

PROGETTO

FP3 · TRANSIZIONE DIGITALE - ECONOMIA CIRCOLARE E RICICLO · CAPOFILA: SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA · PARTNER: TOR VERGATA, ROMA TRE, CASSINO, TUSCIA, LUISS, UCBM, CNR · INDUSTRIA: ACEA, ALMAVIVA

ABSTRACT

Flagship Project 3 of the Rome Technopole ecosystem, led by Sapienza Università di Roma with partners Tor Vergata, Roma Tre, Cassino, Tuscia, LUISS, UCBM, CNR (academic) and ACEA, Almagiva (industrial), addresses digital transition for waste decarbonisation and recycling. Its fourteen research lines span five clusters: AI and digital tools for waste characterisation and pre-sorting; digital traceability (Digital Product Passport, smart labels, plastic credits blockchain); thermochemical process modelling (gasification, pyrolysis, green chemistry); critical raw materials recovery and polyester chemical recycling; and environmental monitoring including nanopowder surveillance and electrochemical water treatment. The article discusses each cluster's scientific content, key results (Plasmix digital twin, PET recycling pilot at Roma Tre, battery-free NFC sensors at Tor Vergata, real-time nanopowder monitoring at Cassino), the EU regulatory context (ESPR, CRMA, IED revision) and the open challenge of building circular district governance.

KEYWORDS:

WASTE MANAGEMENT, CIRCULAR ECONOMY, DIGITAL PRODUCT PASSPORT, BLOCKCHAIN, GASIFICATION, PYROLYSIS, CRITICAL RAW MATERIALS, PET RECYCLING, SMART PACKAGING, NANOPOWDERS, ESPR, INDUSTRIAL SYMBIOSIS

AUTORE

MARIA CHIARA SPIEZIA
REDAZIONE@MEDIAGEO.IT



Campioni di materiale plastico riciclato: la qualità del recupero dipende da selezione, tracciabilità e controllo della composizione. L'obiettivo finale di FP3 è il distretto circolare — un'area dove lo scarto di un'impresa diventa materia prima di un'altra, sul modello di Kalundborg in Danimarca. (Fonte: RAI / Fondazione Rome Technopole)